УДК 621.313

МОНИТОРИНГ ЩЕТОЧНО-КОЛЛЕКТОРНОГО УЗЛА ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

А.А. Осадченко, А.Б. Цукублин, О.Л. Рапопорт

Томский политехнический университет
E-mail: Osadchenko1@yandex.ru

Показана возможность мониторинга искрения щеточно-коллекторного узла тягового электродвигателя в условиях эксплуатации. Для этого разработан метод оценки величины искрения на коллекторе с помощью разрезной щетки, посредством регистрации тока, протекающего через отдельные, изолированные между собой части щетки. Сконструировано устройство индикации искрения, которое монтируется непосредственно на щеточно-коллекторный узел тягового электродвигателя и позволяет регистрировать необходимую величину поперечного тока. Для тарировки устройства индикации искрения в условиях эксплуатации реализован канал видеонаблюдения, который позволяет в режиме реального времени дистанционно оценивать бальность искрения визуально.

Интенсификация использования железнодорожного транспорта предъявляет особенно высокие требования к надежности работы локомотивов, являющихся ведущим звеном технических средств обеспечения железнодорожных перевозок.

Надежность электроподвижного состава в свою очередь определяется надежностью тяговых электродвигателей. Ключевым вопросом, в значительной мере определяющим работоспособность тяговых коллекторных машин, остается проблема повышения их коммутационной надежности [1]. Поэтому важно иметь объективную информацию о состоянии коммутации тяговых двигателей непосредственно в процессе эксплуатации, т.к. это позволит своевременно исключить возникновение кругового огня на коллекторе.

Одним из возможных методов оценки искрения в тяговых машинах постоянного тока является измерение поперечного тока щетки. Наиболее удобно применять этот метод в том случае, когда щетка является разрезной (например, в двигателях ТЛ2К1, НБ-514), и есть возможность измерения этого тока без изменения конструкции щеточно-коллекторного узла.

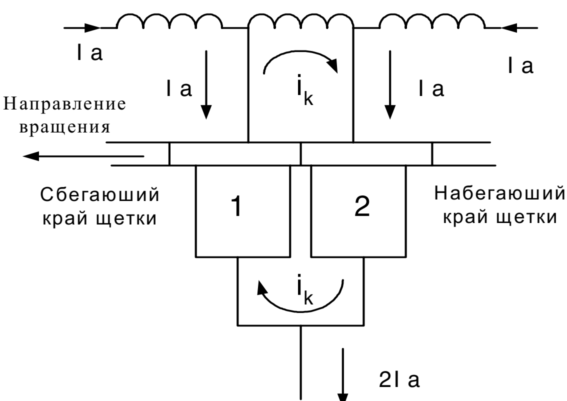


Рис. 1. *Схема работы коллекторно-щеточного узла при наличии разрезной щетки*

На рис. 1 показана схема работы щеточно-коллекторного узла при наличии разрезной щетки. Если отдельные части щетки 1 и 2 изолированы друг от друга, то в момент времени, показанный на рисунке, по ним будут протекать токи, отличающиеся на величину дополнительного тока $i_к$. Направление этого тока в процессе коммутации определяется суммарной ЭДС, наводимой в коммутирующей секции. Поэтому плотности тока под «сбегающими и набегающими» частями щетки будут существенно различаться, что приводит к искрению того или иного края щетки, интенсивность которого зависит от величины дополнительного тока $i_к$. На основании рассмотрения коммутационного процесса тяговых электродвигателей постоянного тока, в которых применяются разрезные щетки, были сделаны выводы о возможности регистрации искрообразования по величине дополнительного тока. Регистрация изменения тока в коммутируемой секции осуществляется по схеме, рис. 2.

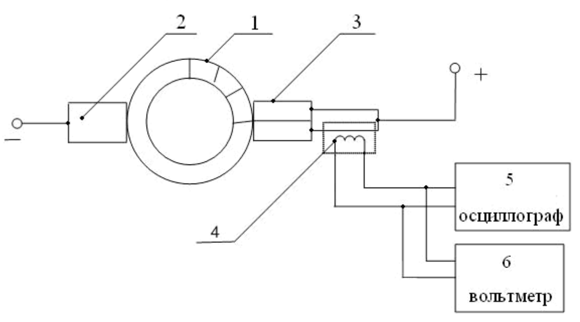


Рис. 2. *Схема устройства индикации искрения: 1) коллектор машины постоянного тока; 2) контактная щетка; 3) разрезная контактная щетка; 4) трансформатор тока; 5) осциллограф; 6) вольтметр*

Выбор геометрических размеров и параметров измерительного трансформатора целиком зависит от мощности, напряжения питания и токовой загрузки двигателя. Проверка предложенного метода была проведена на тяговом электродвигателе постоянного тока ТЛ2К1. Система контроля и измерения искрения состояла из трансформатора тока, выполненного на тороидальном сердечнике. Конструкция устройства индикации искрения представлена на рис. 3.

Устройство индикации искрения представляет собой трансформатор тока – 1, выполненный на тороидальном сердечнике. В качестве первичной обмотки служит латунная шпилька – 2, которая

проходит через кольцо трансформатора тока. Второй клеммой подключения первичной обмотки служит латунная гильза – 3, которая изолирована от шпильки изоляционной обоймой – 4. Между первичной обмоткой трансформатора тока и вторичной также находится изоляционная обойма – 5. Трансформатор тока помещен в разборной корпус – 6 и залит компаундом.

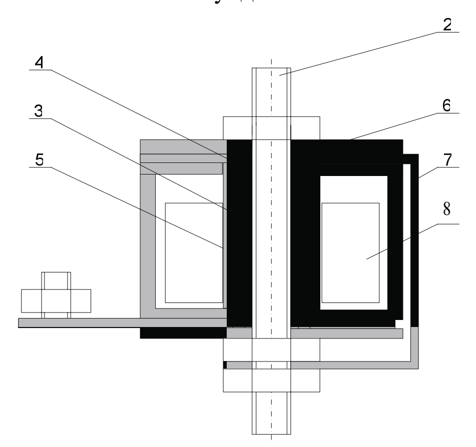


Рис. 3. *Конструкция устройства индикации искрения*

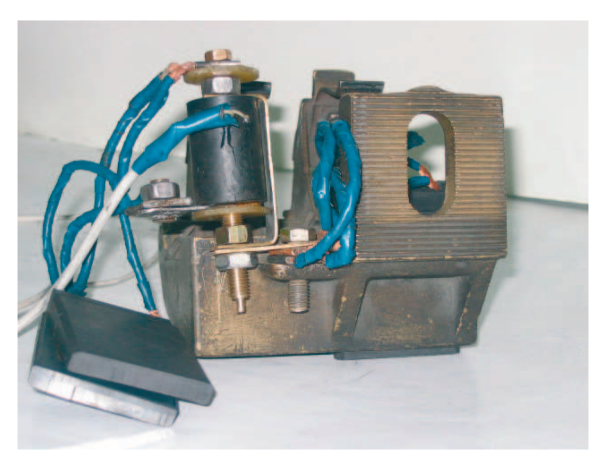


Рис. 4. *Расположение устройства индикации искрения на щеточно-коллекторном узле*

Информация о величине поперечного тока снималась с нагрузочного сопротивления вторичной обмотки трансформатора с помощью электронного осциллографа и электронного вольтметра. Ликвидация намагничивания ферритового сердечника трансформатора постоянным током двигателя была осуществлена путем встречного включения токов отдельных частей разрезной щетки в первичной цепи. Постоянные составляющие тока, протекающего в щетке, взаимно уничтожались, и трансформатор тока регистрировал только необходимую переменную составляющую.

Превышение этой составляющей некоторой допустимой величины, согласно энергетической теории коммутации [1], приводит к возникновению искрения. Известно [2], что интенсивность искрения щеток определяется мощностью, выделяемой под единицей длины щетки $L_щ$ за время t_k/ϑ_k.

$$\Delta P = \frac{L_c i_k^2}{2} \frac{\vartheta_k}{t_k L_щ}.$$

где $L_щ$ – ширина щетки, мм; t_k – коллекторное деление; ϑ_k – окружная скорость коллектора, рад/с; L_c – индуктивность секции, Гн; i_k – поперечный ток разрезной щетки, А; ΔP – мощность, Вт.

Согласно этой формуле, если производить регистрацию тока i_k для конкретной электрической машины, будет известна выделяемая под щеткой мощность ΔP, по величине которой можно определить наличие и величину искрения на коллекторе. В ходе проведенных испытаний на макете тягового двигателя были сняты кривые поперечного тока (рис. 5, 6), протекающего между отдельными частями разрезной щетки. Интенсивность искрения определялась визуально. На рисунках представлены результаты, осциллограммы поперечного тока, снятые с нагрузочного сопротивления вторичной обмотки трансформатора тока.

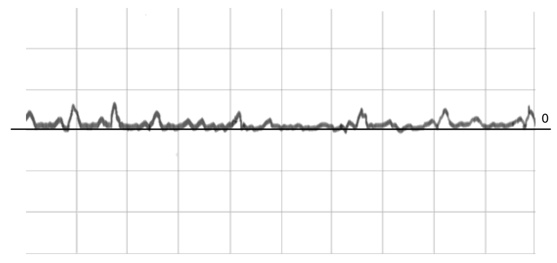


Рис. 5. *Интенсивность искрения: <1 балла (ГОСТ 183-78); n=1500 об/мин; U=99 мВ. Масштаб луча 0,2 В/дел.*

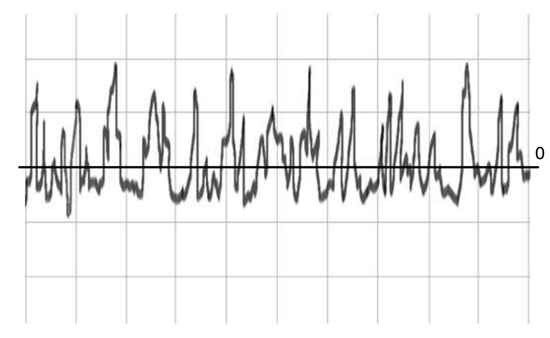


Рис. 6. *Интенсивность искрения: 3 балла; n=1500 об/мин; U=900 мВ. Масштаб луча 0,2 В/дел.*

Для тарировки разработанного устройства и объективности наблюдения за искрением на коллекторе был создан видеоканал регистрации искрения. Задача состояла в совмещении видеосигнала искрения на коллекторе под измерительной щеткой и видеосигнала подключенной измерительной аппаратуры. Это было реализовано с помощью двух аналоговых WEB-камер, подключенных через квадратер к компьютеру. Первая WEB-камера была вмонтирована над коллектором и вела съемку искрения под измерительной щеткой. Вторая WEB-камера снимала табло измерительного электронного вольтметра, на котором отображался уровень напряжения на нагрузочном сопротивлении трансформатора тока. Посредством обработки двух видеосигналов с помощью

квадратера совместили оба сигнала в режиме реального времени на мониторе компьютера.

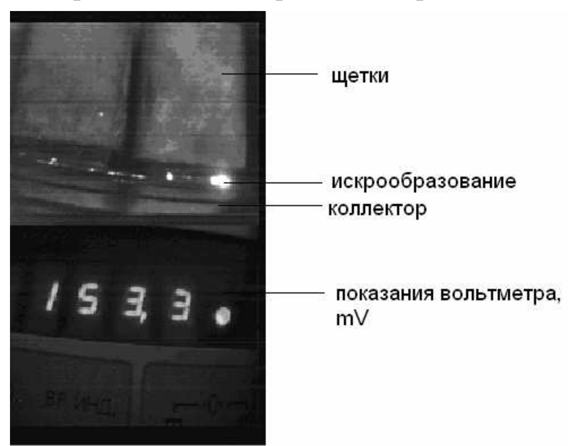


Рис. 7. *Видеоканал регистрации искрения на коллекторе*

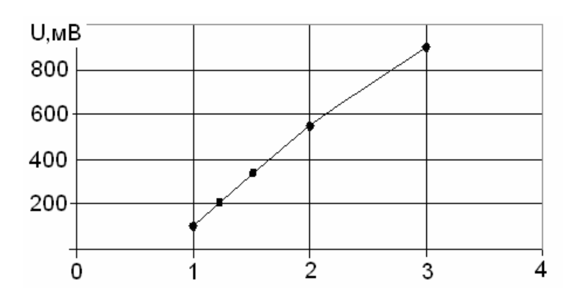


Рис. 8. *Зависимость величины напряжения на датчике от бальности искрения*

Подобная реализация видеонаблюдения искрения, рис. 7, позволила вести непрерывную запись в режиме реального времени двух совмещенных видеосигналов. Эксперименты видеонаблюдения были проведены на физической модели тягового электродвигателя. Результаты показывают прямую зависимость изменения уровня напряжения на нагрузочном сопротивлении трансформатора тока и изменения интенсивности искрения под измерительной щеткой.

Из приведенных осциллограмм видно, что существует определенная предельная величина амплитуды действующего значения поперечного тока, превышение которой ведет к возникновению искрения на коллекторе. Амплитуда отдельных всплесков (рис. 5) не превышают допустимого значения, и интенсивность искрения невысока <1 балла. Возникновение искрения величиной 3 балла (рис. 6) отразилось на амплитуде действующего значения тока. На экспериментальной модели выявлено соответствие (рис. 8) между величиной коммутационного тока, соответствующего величине напряжения на датчике U, и интенсивностью искрения (в эксперименте интенсивность искрения определялась визуально по ГОСТ 183-78), что позволяет назначать допустимые эксплуатационные режимы двигателя по уровню этого тока. Устройство индикации искрения может быть успешно применено для диагностики и мониторинга состояния искрения в процессе эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.Е. Тяговые электрические машины и преобразователи. – Л.: Энергия, 1967. – 225 с.
2. Иоффе А.Б. Тяговые электрические машины. – Л.: Энергия, 1965. – 232 с.
3. Карасев М.Ф. Коммутация коллекторных машин постоянного тока. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 326 с.

УДК 621.318.38